ChinaXiv合作期刊

导航结构与认知负荷对老年读者数字图书馆用户体验影响的实证研究*

——以国家数字图书馆为例

侯冠华[1] 董华[2] 刘颖[2] 范光瑞[2]
[1] 同济大学建筑与城规学院 上海 200092 [2] 同济大学设计创意学院 上海 200092

摘要：[**目的/意义**]通过分析数字图书馆导航结构与认知负荷对老年读者数字阅读情感体验和可用性的影响，提出设计优化建议。[**方法/过程**]针对国家数字图书馆常用功能，采用严格的控制实验法，邀请老年读者在认知负荷大或小两种条件下依次在不同导航结构中完成任务，分别验证导航结构和认知负荷对老年读者阅读体验的影响。[**结果/结论**]数字图书馆导航结构对老年读者的情感体验、感知的可用性和任务绩效均有显著影响，且认知负荷与导航结构具有交互作用，当两种条件共同作用时，会对读者的情感体验、数字图书馆的阅读绩效施加显著的影响。

关键词：数字图书馆 用户体验 情感体验 认知负荷 导航结构
分类号：G252
DOI：10.13266/j.issn.0252－3116.2018.13.007

chinaXiv:202308.00645v1

1 引言

随着国内网络速度提升、信息资源量剧增、全民信息版权保护意识增强，阻碍数字图书馆发展的瓶颈已不再是技术问题，而是读者的用户体验、阅读偏好问题。如何吸引读者使用数字图书馆，增强数字图书馆的用户粘性，进而提升信息资源的利用率，是图书馆迫切需要解决的问题。用户体验是指人们对于使用或期望使用的产品、系统或者服务的所有反应和结果[1]。目前数字图书馆用户体验研究多集中于理论模型构建[2]，借助新科技如云计算提升用户体验[3]、交互体验比较分析[4]、用户画像[5]和可用性评价[6]等方面。然而，在用户体验研究过程中，研究者过度依赖 J. Nielsen 等的系统可用性测量指标，如系统易用性、系统响应快捷性、界面友好性等[7]，在探索数字图书馆给读者带来的情感体验方面尚有一定的局限。因此，影响读者情感体验变化的因素及其作用机制还有待进一步研究。

本研究将基于认知负荷理论，探索数字图书馆不同导航结构在不同认知负荷条件下，对读者情感体验的影响。利用严格的控制实验方法，采用经典的正性负性情绪测量量表（PANAS），对读者使用数字图书馆前、后情绪的变化加以测量，研究认知负荷、导航结构、任务绩效对情感体验变化的影响，同时测量系统的可用性，以期全面了解读者的数字图书馆用户体验。本文中有关数字图书馆情感体验的研究，是对现有研究的扩充，通过重复测量的方法，对读者情绪这一难以察觉的心理活动进行量化，这将有助于我们更完整地分析读者用户体验的变化过程，为数字图书馆的设计、开发、迭代升级提供理论依据。

2 相关研究述评

用户体验的构成要素很复杂，M. Hassenzahl 认为用户体验是用户内心状况（需求、动机、期望、心情等）与产品系统在特定环境下交互过程中产生的[8]。他从操作层面将用户体验分为实用性体验和享乐性体验，其中实用性体验泛指系统的可用性、功能的有用性和易用性等，享乐性体验则包括用户情感、价值感、自我

* 本文系教育部人文社会科学研究青年基金项目“包容性视角下无障碍交互设计研究”（项目编号：17YJC760015）研究成果之一。
作者简介：侯冠华（ORCID：0000－0002－0745－8896），博士研究生；董华（ORCID：0000－0002－4681－737X），教授，博士，通讯作者，E-mail：donghua@tongji.edu.cn；刘颖（ORCID ID：0000－0002－9618－7687），硕士研究生；范光瑞（ORCID：0000－0001－5857－3061），硕士研究生。
收稿日期：2018－01－08 修回日期：2018－03－13 本文起止页码：45－53 本文责任编辑：易飞

ChinaXiv合作期刊

提升等10种心理需求[9]。相关研究发现,可用性体验的目标是保证用户能顺利使用产品,而好的享乐性体验不仅能留住用户,还能预测用户在未来一段时间内的使用行为[10]。因此,数字图书馆的享乐性体验研究对知识服务效率的提升至关重要。

近年来,各类实体图书馆都在积极开发数字图书馆,探索新的知识服务形式,提升知识服务效率。针对数字图书馆的用户体验研究大致可以分为两类:一是针对数字图书馆的用户体验理论构建,如徐芳等将数字图书馆用户交互分为用户与数字图书馆系统的交互、用户与用户的交互以及用户与环境的交互3种,构建了基于用户体验的数字图书馆用户交互模型[2];张宁等针对国家图书馆的服务内容、服务方式、服务对象和技术手段4个维度提出了用户体验服务模式[11];邓胜利等基于用户体验的交互式信息服务模式,构建了支持对用户自适应的信息服务模型[12]。二是针对数字图书馆开展用户体验评价。如徐芳等采用实验研究和比较研究的方法,对知网、维普、万方等数字图书馆用户交互体验评价做了比较,分析了这些数字图书馆各自的优缺点,为进一步完善用户体验提供了参考建议[4];此外,他还进一步分析了个体差异对数字图书馆用户体验评价的影响,发现教育背景、性别等多个因素对用户体验评价具有重要影响[13];郑方奇等对两款数字阅读应用平台的人机交互界面进行了对比分析,总结出数字阅读平台个性化、社交化等若干界面特点以及发展趋势[14]。K. C. Wu等采用结构方程模型对儿童数字图书馆信息搜索体验做了研究,发现游戏式图标、界面布局对儿童信息搜索有重要帮助,并提出了针对儿童的数字图书馆设计建议[15]。

情感体验作为用户体验的一个重要组成部分,不仅会直接影响信息行为决策、信息搜索绩效,还会影响用户对信息服务平台的忠诚度、满意度。信息搜索动机受情感因素影响,刘鲁川等学者研究发现了用户信息搜索行为中体验到的、出现频率最高的16种情绪,发现正性情绪能够显著提升用户满意度[16]。赵杨等发现用户满意度能正向影响用户的持续使用意愿[17]。查先进等发现信息质量和信源可信度均正向影响用户的认知反应和情感反应,认知反应和情感反应进一步正向影响用户的学术信息搜寻行为[18]。已有研究表明,时间压力对信息检索过程中成功完成搜索任务的信心和自我认同度有影响[19],而时间压力又是控制认知负荷的重要手段,刘佳等通过计算信息搜索任务完成时间来测算用户的认知负荷,他们构建了信息检索认知过程中认知负荷结构模型,并提出认知负荷评价的基本框架[20]。将认知负荷作为自变量,研究其对情感体验的影响,对提升信息检索绩效具有重要意义。

综上所述,尽管这些研究为数字图书馆开发提供了理论和实践指导,但仍存在以下不足:①他们的研究中仅选取了用户体验的实用性体验评价指标,关于情感体验的研究多集中于影响因素分析层面,针对读者阅读过程中的情感体验如何变化的实证研究较少。②读者使用数字图书馆时,往往会有一定的认知负荷,其大小会随使用情境而变,如新手用户和专家用户,由于背景知识不同,在完成相同任务时的认知负荷会有很大差异,从而造成用户体验差异。这是一个在现实中无法避免的重要因素,前人在信息搜寻中构建了认知负荷评价的基本框架,但认知负荷如何影响读者的情感体验还有待进一步研究。③多数研究对象都是在校学生,少数针对儿童,缺少对老年群体的研究。因此,本研究将针对上述不足,以国家数字图书馆的老年读者为研究对象,针对不同导航结构和认知负荷进行研究,全方位探讨这两个因素对用户的情感体验和感知可用性的影响。

3 理论背景与研究假设

本研究基于认知负荷理论,拟通过时间压力调节认知负荷,针对国家数字图书馆现有的两种导航形式,采用控制实验的方法,分别探讨其对任务绩效、情感体验、可用性的影响。

3.1 认知负荷

认知负荷是指人在完成任务过程中进行信息加工所需要的认知资源总量[21]。相关研究表明,认知负荷变化会导致任务绩效变化,认知负荷增长与任务绩效之间呈"∩"形关系,认知负荷过低或过高都会降低任务绩效[22]。影响认知负荷的因素有很多,如先前知识、经验、工作记忆容量等,通常在研究中需要对这些因素进行控制[23]。常用的认知负荷控制方法包括:控制任务难度、任务复杂程度、时间压力等。读者使用数字图书馆的目标是提升信息服务效率,因此本研究中将选取时间压力作为控制认知负荷的技术手段。

3.2 导航结构

导航功能对于网页、APP开发的重要性不言而喻,任何一个网页的导航都具有3个功能:①提供给用户一种在网站间跳转的方法;②导航设计必须传递出导向元素和它所导向内容之间的关系;③导航设计必须传递出导航的内容和用户当前浏览页面之间的关

chinaXiv:202308.00345v1

chinaXiv:202308.00645v1

系[24]。导航的重要使命是清晰地告诉用户他们“在哪儿”以及“能去哪儿”。因此，导航的逻辑结构是否清晰，对用户能否顺利完成任务、避免迷路至关重要。

导航结构最早以扁平式为主，随着网站信息量增加，导航结构逐渐从扁平结构发展成树形导航结构。本研究中所选取的国家数字图书馆 APP 有两个版本，其旧版就属于典型的扁平式结构，而新版导航结构属于树形结构，如图 1 所示：

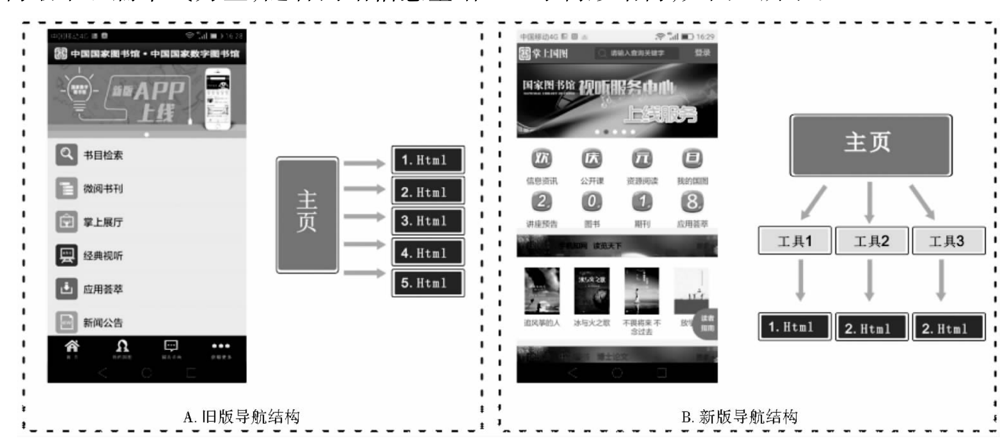


图 1　新旧版本国家数字图书馆 APP 界面及导航结构

3.3　情感体验与可用性测量

情绪是个体心理状态的“晴雨表”，而生活事件是日常情绪体验的重要前提条件[25]。A. J. Zautra 等认为所有的情感体验都发生在一定的情境之中，情感体验随生活事件改变会发生动态变化，生活事件对情感体验的影响分为积极和消极两类[26]。数字化阅读也是生活事件，根据 A. J. Zautra 等的情感体验理论可知，读者完成任务后，会产生一定的情绪波动，其波动分为正、负两个方向。本研究中对情感体验的测量采用经典 PANAS 正负情绪测量量表，该量表由 20 个形容词构成，含 10 个正性情绪词汇和 10 个负性情绪词汇，该量表既能用于描述用户一段时期内的情绪状态，也能用于描述即时情绪状态，且信效度极高[27]。计算方法有两种：一是比较前、后测正、负性情绪的均值，查看其变化趋势；二是分别比较单一正性或负性指标前测、后测的均值变化情况。本研究采用第一种计算方法。

可用性测量采用经典的 SUS 量表[28]，该量表由 10 个问题构成，分别针对系统易用性、有用性、自我效能、满意度等指标，综合形成系统可用性得分，该量表总分为 100 分，低于 50 分表示不可接受，51－70 分之间表示勉强能接受，71 分以上意味着可用性较好。

3.4　研究假设

根据上述理论，本研究提出如下假设：

假设 1：认知负荷可能对情感体验、可用性、任务绩效具有显著影响。

假设 2：导航结构可能对情感体验、可用性、任务绩效具有显著影响。

假设 3：认知负荷和导航结构可能对情感体验、可用性、任务绩效的影响具有交互作用。

假设 4：可用性与情感体验变化的相关性可能显著。

假设 5：扁平式导航结构可能更适合老年人。

4　实验过程与数据获取

4.1　实验设计

本研究采用 2×2（2 因素 2 水平）混合实验设计，2 因素分别是认知负荷与导航结构，其中认知负荷分为高和低 2 个水平，采用时间压力技术控制，是组间因素；导航结构分为扁平式结构和树形结构 2 个水平，分别对应国家数字图书馆的新、旧版本，是组内因素。

PAAS 认知负荷主观测量量表是用于测量认知负荷最为常用的量表，该量表由 3 个问题构成，采用求均值的方法计算认知负荷，每个问题都采用 likert7 级尺度评分[29]。本研究中，时间压力设定及认知负荷大小测量方法如下：实验开始前，邀请 5 名读者依次完成预先设定的 5 项任务，计算任务完成消耗的平均时间，采用 PAAS 量表测量所对应的认知负荷值，在无时间压力下，认知负荷得分约为 4.0 分；在平均消耗时间的基础上，分别加减 60 秒，再次邀请 5 名读者依次完成预先设定的 5 项任务，测量他们的认知负荷，所对应的值分别约是 3.3 分和 6.1 分；据此将上述时间设定为时间压力小和大的条件，分别对应着认知负荷低和高两条件。本研究中对应的任务限制时间是 300 秒和 180

ChinaXiv合作期刊

秒,超出限制时间将被认定为任务失败。

4.2 实验被试与分组情况

本研究共邀请了 20 位老年人参加实验,实验共需 1 周时间,被试均从老年大学招募,文化程度全部为高中以上,平均年龄 64.37 岁,SD = 4.03,其中男性被试 9 名,女性被试 11 名。被试平均每天使用手机阅读 3 小时以上,矫正视力正常,均为右手利。在实验前全部认真阅读实验知情同意书,并签字确认。

根据混合实验设计方案,本研究将 20 位老年人被试平均分为 2 组(高认知负荷组和低认知负荷组),每组 10 人,每位被试需参加 2 个实验测试,分别在扁平导航和树形导航结构中完成相关任务。

4.3 实验任务和数据采集

每位被试需在 2 个版本的国家数字图书馆 APP 中完成相同数量、相似内容的任务,如表 1 所示。要求在规定时间内,按照顺序依次完成任务,实验主试人员记录每个任务完成时间。为消除顺序效应的影响,每位被试随机抽取数字图书馆实验版本顺序,完成 2 个版本的测试任务。其中在低认知负荷组,从 A 界面到 B 界面,与从 B 界面到 A 界面的人数相等,都是 5 人;在高认知负荷组,从 A 界面到 B 界面 4 人,从 B 界面到 A 界面共 6 人。

表 1 实验任务内容安排

序号	旧版任务	新版任务
1	查找图书《山海经》,并收藏	查找图书《四世同堂》,加入书架
2	查看排行榜,找到《东周列国志》,打开阅读	查看排行榜,找到《北京,北京》,打开阅读
3	查找 2017 年国家数字图书馆中秋、国庆假期开馆安排	查找最新公告、"国家数字图书馆"APP 上线通告
4	查找辛德勇主讲的"发现《燕然山铭》——浅谈这一发现的学术价值"讲座,请说出讲座时间和地点	查找郭文玲主讲的"出土简帛记述的古代中国"讲座,请说出讲座时间和地点
5	查看《祖国颂》在线展览	查看《百子团圆》在线展览

被试在进入实验室后,先休息 3 – 5 分钟,听取实验内容和要求的介绍,在实验开始前,填写 PANAS 情绪量表,记录使用数字图书馆前的情绪,作为参考标准,在完成一个版本的试验任务后,再次填写 PANAS 量表,并填写 SUS 量表。两个版本的实验测试间隔 30 分钟,每位被试全部完成测试需 40 – 50 分钟左右。实验设备采用华为 Nova2 手机,屏幕尺寸 6 寸,屏幕分辨率 2160 × 1080,亮度统一,实验环境光线统一。

实验期间共采集了两套数据:客观数据和主观数据。客观数据指实验期间的行为数据,包括每个任务的完成时间、任务成功率,其中为了精准测量任务完成时间,实验采用了 Dkablis 眼镜式眼动仪,采样率 60HZ,数据分析采用 D-Lab 数据分析系统;主观数据指情感体验数据和可用性数据,分别采自 PANAS 量表和 SUS 量表,数据分析采用 Stata14.0。

5 研究结果

5.1 行为数据结果

实验完成后,对所有被试的任务平均完成时间、任务成功率分别进行统计,结果如表 2 所示。完成任务 1 平均所需时间最长,完成任务 2 和任务 3 所需时间相似,略少于任务 1,完成任务 4 和任务 5 所需时间最短。

表 2 每项任务的平均完成时间和成功率描述统计结果

测量值	任务 1	任务 2	任务 3	任务 4	任务 5
完成时间均值(标注差)	66 s (17.5 s)	42s (15.7s)	42s (16.0s)	34s (10.1s)	33s (11.3s)
成功率(%)	100	100	100	70	55

任务时间的双因素方差分析结果发现,认知负荷与导航结构 2 个因素影响任务 1 完成时间的交互作用显著($F = 4.88, p = 0.035$),但认知负荷、导航结构影响任务 1 完成时间的主效应均不显著($p > 0.05$)。导航结构对任务 3($F = 4.12, p = 0.05$)、任务 5($F = 6.5, p = 0.02$)完成时间的主效应显著。在本实验中,任务 1 完成时间仅随认知负荷与导航结构同时改变而变化,不受认知负荷或导航结构单个变量的影响。任务 3 和任务 5 完成时间随导航结构变化发生显著变化。

任务 4、任务 5 成功率的卡方检验结果显示认知负荷对任务 4($F = 7.57, p = 0.06$)和任务 5($F = 15.18, p < 0.001$)的成功率主效应显著,说明任务 4 和任务 5 的成功率随认知负荷变化发生显著改变。导航结构对任务成功率影响不显著。分析结果见表 3。

对认知负荷与导航结构在任务 1 完成时间存在的交互作用做简单效应分析,固定扁平式导航结构,从低认知负荷状态到高认知负荷状态,完成任务时间降低,说明时间压力在扁平式导航中有助于老年读者更快地完成任务。固定树形导航时,低认知负荷状态到高认

chinaXiv:202308.00645v1

ChinaXiv合作期刊

表 3　任务完成时间双因素方差分析结果与任务成功率卡方检验结果

任务		行为数据	均方	F 值/ χ^2	p 值
任务 1	认知负荷	任务时间	136.13	0.48	0.49
	导航结构	任务时间	36.13	0.13	0.72
	认知负荷×导航结构	任务时间	1378.13	4.88	0.035*
任务 2	认知负荷	任务时间	81.28	0.35	0.56
	导航结构	任务时间	850.78	3.67	0.06
	认知负荷×导航结构	任务时间	195.03	0.84	0.37
任务 3	认知负荷	任务时间	96.56	0.40	0.53
	导航结构	任务时间	1005.72	4.12	0.050*
	认知负荷×导航结构	任务时间	19.51	0.08	0.7796
任务 4	认知负荷	任务时间	250.71	2.55	0.1222
		成功率	–	7.57	0.006**
	导航结构	任务时间	57.57	0.59	0.45
		成功率	–	0.15	0.694
	认知负荷×导航结构	任务时间	0.91	0.01	0.92
任务 5	认知负荷	任务时间	179.44	1.86	0.19
		成功率	–	15.18	<0.001***
	导航结构	任务时间	618.21	6.40	0.02*
		成功率	–	0.13	0.72
	认知负荷×导航结构	任务时间	221.99	2.30	0.14

注：* 代表 $p<0.05$，** 代表 $p<0.01$，*** $p<0.001$

知负荷状态，完成任务时间增长，说明老年读者在树形导航结构中完成任务受时间压力影响较大，时间压力起延长任务完成时间作用。如图 2 所示：

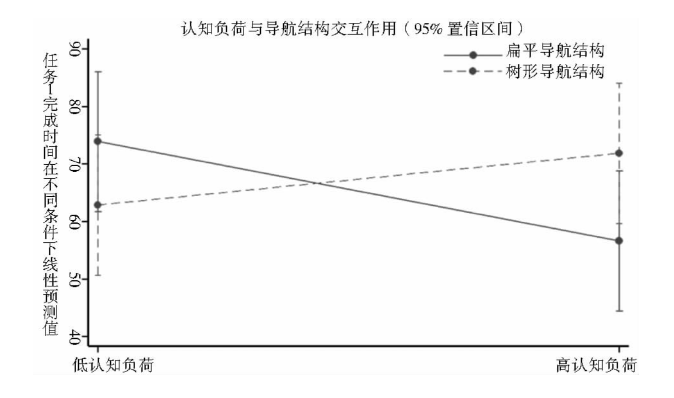


图 2　认知负荷与导航结构对任务 1 完成时间的交互作用影响分析

5.2　情感体验结果

情感体验采用后测减去前测的方法检验变化量，开始实验前，测量被试的基础情感体验状态，分别得出正性情感状态（PA1）和负性情感状态（NA1）的前测值，在每一个 APP 测试完成后，马上做后测情感状态测量，结果分别是 PA2 和 NA2，两次正性情感得分的差值就是正性情感体验的变化值，负性情感体验的算法与正性情感体验一样。情感体验测量结果的描述统计如表 4 所示：

表 4　各种测试条件下情感体验测量结果描述统计

条件	统计量	PA1	NA1	PA2	NA2	PA	NA
高负荷、扁平导航	平均值	3.47	1.27	3.9	1.03	0.48	–0.19
	标准差	0.83	0.66	0.79	0.07	0.71	0.34
高负荷、树形导航	平均值	3.47	1.27	2.59	1.56	–0.89	0.29
	标准差	0.83	0.66	0.94	0.54	0.69	0.54
低负荷、扁平导航	平均值	3.47	1.27	3.16	0.73	–0.31	–0.54
	标准差	0.83	0.66	1.14	0.07	0.54	0.65
低负荷、树形导航	平均值	3.47	1.27	3.52	1.16	0.05	–0.11
	标准差	0.83	0.66	1.01	0.32	0.78	0.52

对情感体验数据进行可视化处理，如图 3 所示，从情感体验均值比较中能够发现，高认知负荷扁平导航条件增加了读者的正性情感均值（PA＝0.48），同时降低了负性体验（NA＝－0.19）。高认知负荷树形导航和低认知负荷扁平导航都降低了读者的正性情感体验，高负荷树形导航大幅降低了正性情感体验（PA＝－0.89），同时还增加了负性情感（NA＝0.11）。低负荷树形导航结构正、负情感体验影响都不大。

进一步研究认知负荷和导航结构对情感体验变化的影响，以认知负荷和导航结构为自变量、正性情感变化值为因变量做双因素方差分析，发现导航结构对正性情感变化的主效应边缘显著（$F=3.88$，$p=0.058$），认知负荷对正性情感变化的主效应不显著（$F=0.18$，$p=0.677$），但是认知负荷和导航结构对正性情感变化的交互作用显著（$F=13.66$，$p<0.001$），说明只有当两个自变量共同作用时，才会显著影响情感体验变化量。确定交互作用存在后，进一步做简单效应分析，发现固定导航结构不变时，扁平式导航结构随认知负荷增加，正性情感提升，树形导航结构则随认知负荷增加，正性情感降低。固定认知负荷不变时，低认知负荷状态下，

chinaXiv:202308.00645v1

ChinaXiv合作期刊

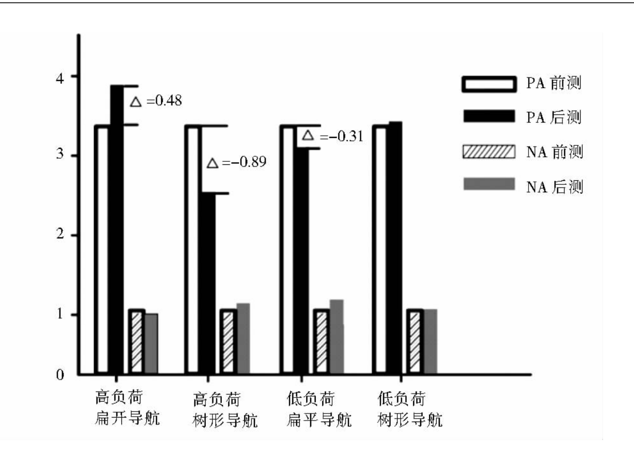


图 3　情感体验变化数据比较

两种导航结构正性情绪体验分值相差不大，但树形导航结构略高；在高认知负荷状态下，情感体验差别显著，扁平式导航结构正性情感体验更高。如图 4 所示：

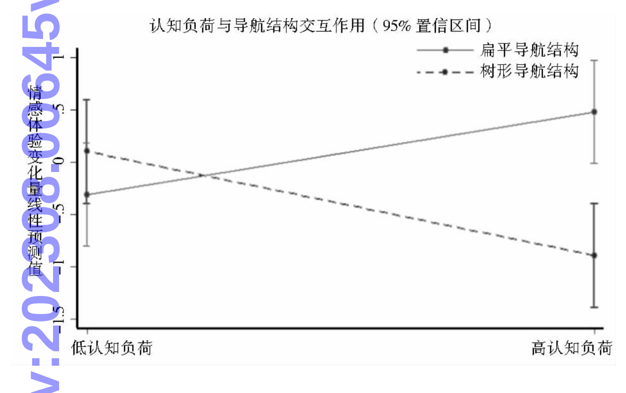


图 4　简单效应分析

进一步研究认知负荷和导航结构对负性情感体验变化的影响，以负性情感体验变化值为因变量做双因素方差分析，发现认知负荷（$F=0.55$，$p=0.47$）、导航结构（$F=2.2$，$p=0.14$）对负性情感体验变化的影响都不显著，且二者无交互作用（$F=0.02$，$p=0.89$）。

5.3　可用性结果

被试在完成 APP 测试任务后，先做情感体验评分，再对产品可用性进行评分。4 种测试条件下可用性得分描述统计如表 5 所示：

表 5　各种测试条件下的可用性得分描述统计

条件	统计量	SUS 得分
高负荷、扁平导航	平均值	90.31
	标准差	5.89
高负荷、树形导航	平均值	58.88
	标准差	22.78
低负荷、扁平导航	平均值	79.06
	标准差	16.74
低负荷、树形导航	平均值	71.88
	标准差	16.24

绘制 4 种条件下可用性得分箱式图，如图 5 所示，扁平式导航结构可用性得分比树形导航结构可用性得分略高，认知负荷的两个条件可用性得分分布情况相似。进一步对可用性得分做双因素方差分析发现，认知负荷对可用性得分没有显著影响（$F=0.07$，$p=0.79$），但导航结构对可用性影响显著（$F=7.99$，$p=0.009$），认知负荷与导航结构的交互作用不显著（$F=3.33$，$p=0.079$）。

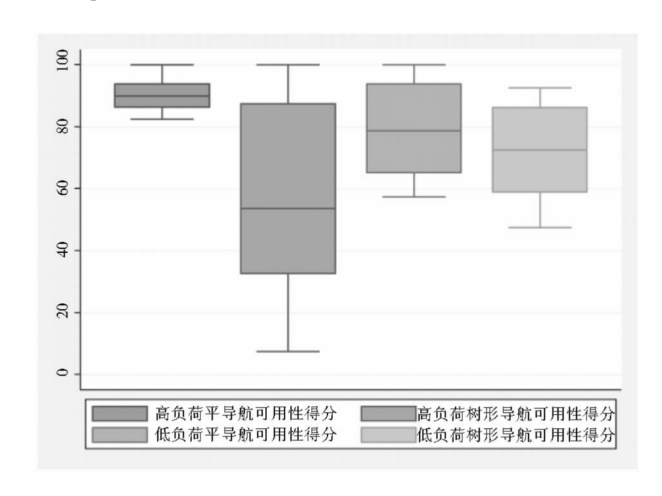


图 5　各种测试条件下的可用性得分箱式图

5.4　可用性与情感体验的关系

为验证可用性与情感体验变化存在相关性这一理论假设，对可用性得分、正性情感体验变化得分、负性情感体验变化得分做皮尔逊相关系数分析，发现正性情感体验变化与负性情感体验变化之间相关性显著（$r=-0.493$，$p=0.005$），但正性情感体验变化与可用性得分之间相关性不显著（$r=0.323$，$p=0.076$），负性情感体验变化与可用性得分之间相关性也不显著（$r=-0.137$，$p=0.462$）。

6　讨论与分析

数字阅读用户体验是一项复杂的心理活动，借助读者阅读的绩效表现和主观评价可以部分实现对这一活动的量化评估，帮助我们有效分析用户体验发展、变化的心理过程，进而为数字图书馆界面设计、产品开发、服务模式创新提供理论指导，提高信息资源利用率，达到推动全民阅读的目的。以用户为中心的设计理论认为，用户界面设计是否友好、是否合理，将直接影响数字图书馆系统的使用效率[30]。本研究分别从认知负荷和导航结构两个维度对用户体验的情感体验和可用性展开了研究，以下将实验结果依次对照研究假设进行讨论。

ChinaXiv:202308.00645v1

6.1 认知负荷对任务绩效、情感体验和可用性的影响

行为数据分析结果表明，认知负荷对 5 个任务的完成时间均没有显著影响，但对任务 4（$F = 7.57, p = 0.06$）、任务 5（$F = 15.18, p < 0.001$）的任务成功率具有显著影响，在时间压力大的条件下，读者任务 4、任务 5 的成功率低于时间压力小的条件，详细结果见表 3。该结果与李晶等的研究结论相似，他们分别考察了时间压力大、中、小 3 个条件对用户记忆图形或颜色的绩效影响，结果发现，时间压力越大，认知速度和效果越差[31]。已有研究表明，压力会增加人的信息处理速度，但会导致人在信息处理过程中倾向于注意事物的大致轮廓，而不会深度分析[32]，由此推测时间压力会对任务完成时间产生影响。本研究中所有被试都是首次使用国家数字图书馆，在时间压力大的条件下，任务 1 完成时间远大于其他任务，表 2 的数据结果显示，后续任务完成速度逐渐加快。这说明用户在任务前期消耗大量时间学习这个软件，那么，时间压力对任务前期学习时间是否有显著影响？实验结果表明，时间压力对任务 1 完成时间无显著影响（$F = 0.48, p = 0.9$），但是，时间压力与导航结构具有交互作用（$F = 4.88, p = 0.035$），说明两个因素单独作用于任务 1 完成时间没有太大影响，只有两个因素共同作用时才能发挥显著的影响。

情感体验数据分析结果表明，认知负荷对正性情感（$F = 0.18, p = 0.677$）、负性情感体验变化值（$F = 0.55, p = 0.47$）的影响都不显著。已有研究认为，压力大可能会引起生理、情绪、认知等方面令人不悦的变化，也可能会带来焦虑等负面情绪[33]。本研究的实验结果并没有发现认知负荷对情感体验变化具有显著的影响效应，但是继续分析认知负荷和导航结构的交互作用，发现两个因素对情感体验变化具有交互作用，说明认知负荷对情感体验的影响需要与导航结构共同作用时才能发挥，通过简单效应分析发现，当时间压力与树形导航相结合时，增加时间压力不仅不能有效提升任务 1 的完成速度，还会起到反向抑制作用。

对可用性数据分析结果表明，认知负荷对可用性得分（$F = 0.07, p = 0.79$）没有显著影响。该结果表明，读者并没有将未能完成任务的责任归咎于可用性。测后访谈结果表明，读者非常自信能够熟练使用国家数字图书馆，通过已完成的任务他们已经熟悉了该产品，并对其做出了综合评价。

综上，认知负荷对任务绩效中的任务成功率具有显著影响，对任务 1 完成时间、情感体验的影响都需要通过导航结构共同作用才能体现，对可用性没有显著影响。

6.2 导航结构对任务绩效、情感体验和可用性的影响

实验结果表明，导航结构对任务成功率没有显著影响，但对任务 3（$F = 4.12, p = 0.05$）、任务 5（$F = 6.5, p = 0.02$）完成时间有影响显著，并且与认知负荷共同施加了对任务 1 完成时间的影响。进一步分析发现，读者在扁平导航结构中的任务完成时间小于树形导航结构，说明老年人在扁平导航结构中完成任务更容易、高效。网站导航的功能是引导并帮助用户快速找到所需要的功能，不同导航结构信息传递的层级会有差异。已有研究表明，老年人使用线性结构导航的绩效表现优于超链接导航形式，D. Castilla 等对老年人使用电子邮件系统导航做了测试，分别请老年人通过线性导航或超链接导航形式接收和发送邮件，结果表明，线性导航成功率和效率都优于超链接导航形式[34]。本研究中，旧版国家数字图书馆 APP 所使用的扁平式导航结构属于线性导航形式，而新版国家数字图书馆 APP 属于超链接导航。线性导航需要按照步骤操作，不能跳跃，而超链接导航可以直接搜索功能，跳跃至所需页面。老年人由于对电脑的熟悉度不够，且认知速度、记忆等认知能力降低，使其更容易接受线性导航。

正性情感体验变化受导航影响较大（$F = 3.88, p = 0.058$），在与认知负荷共同作用后，对正性情感体验变化的影响显著（$F = 13.66, p < 0.001$）。导航结构对正性情绪体验变化影响大，可能是由于当读者无法找到对应功能时，挫败感会增加，而当导航有效地引导读者找到所需功能后，读者会产生愉悦、高兴、自信等正性情感体验。如图 3 所示，扁平式导航结构帮助读者找到对应功能时，正性情感提升明显（$PA = 0.48$），且负性情感略降（$NA = -0.19$）。读者可能会在树形导航中迷失，其结果是正性情感明显下降（$PA = -0.89$），负性情感略升（$NA = 0.11$）。认知负荷与导航结构的交互作用发现，低认知负荷下两种导航结构对情感体验的影响较小，情感体验的变化值区间在（$-0.5, 0.5$），但在高认知负荷下，放大了两种导航结构对情感体验的影响，如图 4 所示。因此，本研究中发现，导航结构对老年人使用情绪体验具有较大的影响，认知负荷在情感体验中存在调节效应。

可用性数据分析结果发现，导航结构对可用性影响显著（$F = 7.99, p = 0.009$），扁平式导航结构的可用性得分高于树形导航结构。如前所述，导航在数字图书馆使用中具有非常重要的作用，清晰的导航结构不

chinaXiv:202308.00645v1

ChinaXiv合作期刊

仅有助于提升可用性,也会增加用户的正性情感体验,因此导航结构的选择对提升不同人群的数字图书馆用户体验非常重要。

综上,导航结构对任务完成时间具有显著影响,对正性情感体验变化影响显著,且认知负荷与导航结构对正性情绪的交互作用显著。导航结构对可用性影响显著。认知负荷与导航结构的交互作用仅在任务 1 完成时间和正性情感体验变化中显著。

6.3 其他影响

如前所述,对可用性得分与正性、负性情感体验变化值的相关性分析结果表明,可用性与正负情感变化的相关性不显著。说明本研究中二种认知负荷条件下,导航结构变化过程中,正性情感变化不会随可用性分数的高低变化产生显著的同向或反向变化。负性情绪变化亦如此。但是,正性情感体验与负性情感体验存在显著的负相关关系,说明当正性情感体验增长时,负性情感体验会降低,在数字图书馆情感体验研究中,提升正性情感体验或降低负性情感体验,都会有助于增加用户对数字图书馆的整体情感体验。需要说明的是,本研究中导致情感体验的变化因素还包括任务完成顺序,由于本研究采用的是同一种任务顺序,因此,该顺序也可能是造成情感体验变化的潜在因素之一。

结合上述研究结论不难发现,老年人在使用扁平导航结构的数字图书馆时,任务效率、正性情感体验变化值和可用性得分都显著高于树形导航结构,说明老年人更适合使用扁平式的导航结构。数字图书馆在针对该人群提供服务时,采用扁平式导航更加适宜。

chinaXiv:201808.00065v1

7 结语

本文对老年读者使用不同导航结构的国家数字图书馆,在不同时间压力下完成阅读任务的情况做了实验研究,发现认知负荷和导航结构对老年读者的用户体验都有不同程度的影响,实验结果能够为数字图书馆开发、设计工作提供理论支持。

首先,认知负荷是不同年龄段读者都无法避免的,它受知识、经验、时间紧迫程度等多种因素影响,本文实验结果表明,认知负荷单独作用于任务绩效、情感体验、可用性时,影响都不大。但是,当认知负荷与导航结构共同变化时,认知负荷对任务绩效和情感体验的影响很大,起到推波助澜的作用,因此在数字图书馆交互设计时应该加以重视。

其次,导航结构对任务绩效、情感体验和可用性的影响都很大。本文实验结果表明,老年人更适合扁平式导航结构,因此在开发数字图书馆 APP 时,应当区分人群,针对性开发适宜不同人群的数字图书馆 APP。国家数字图书馆已经开发了 2 种版本的 APP,应该同步更新,针对不同用户群体,开发相应的信息服务模式和内容,这样更有利于全民数字阅读的推广。

最后,提升情感体验有助于留住读者,增加读者阅读的次数和时间,提高信息资源利用率,数字图书馆开发不仅要重视可用性,还应重视读者的情感体验。

参考文献:

[1] ISO. 9241 - 210:2010. Ergonomics of human system interaction part 210: human centered design for interactive systems[S]. Switzerland :International organization for standardization (ISO), 2010:7 - 9.

[2] 徐芳, 金小璞. 基于用户体验的数字图书馆用户交互模型构建[J]. 情报理论与实践, 2015, 38(8):115 - 119.

[3] 周舒, 张岚岚. 云计算改善数字图书馆用户体验初探[J]. 图书馆学研究, 2009(4):28 - 30.

[4] 徐芳, 戴炜轶. 国内数字图书馆用户交互体验比较实验与分析[J]. 图书馆学研究, 2014(12):18 - 22.

[5] 顾立平. 基于 Web2.0 型人的数字图书馆交互界面设计[J]. 图书情报工作, 2008, 52(9):130 - 133.

[6] 王茜, 张成昱. 清华大学手机图书馆用户体验调研及可用性设计[J]. 图书情报工作, 2013, 57(4):25 - 31.

[7] NIELSEN J, LEVY J. Measuring usability: preference vs. performance[J]. Communications of the ACM, 1994, 37(4):66 - 75.

[8] HASSENZAHL M, TRACTINSKY N. User experience - a research agenda[J]. Behavior & information technology, 2006, 25(2):91 - 97.

[9] HASSENZAHL M, DIEFENBACH S. Needs, affect, and interactive products - facets of user experience[J]. Interacting with computers, 2010, 22(5):353 - 362.

[10] 操雅琴, 郭伏, 屈庆星. 基于多模式测量的网站用户行为意图预测模型[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2014, 35(11): 1669 - 1672.

[11] 张宁, 李雪. 用户体验服务模式在图书馆中的应用实践——以国家图书馆数字图书馆体验区为例[J]. 图书情报知识, 2017(2):33 - 41.

[12] 邓胜利, 张敏. 基于用户体验的交互式信息服务模型构建[J]. 中国图书馆学报, 2009, 35(1):65 - 70.

[13] 徐芳. 用户个体差异对数字图书馆交互体验评价的影响研究[J]. 图书馆建设, 2014, (9):56 - 61.

[14] 郑方奇, 赵宇翔, 朱庆华. 用户体验视角下数字阅读平台人机交互界面的比较研究[J]. 图书馆杂志, 2015, 34(7):50 - 58.

[15] WU K C. Affective surfing in the visualized interface of a digital library for children[J]. Information processing & management, 2015, 51(4):373 - 390.

ChinaXiv合作期刊

[16] 刘鲁川，孙凯. 社会化媒体用户的情感体验与满意度关系——以微博为例[J]. 中国图书馆学报，2015，41(1):76 - 91.

[17] 赵杨，高婷. 移动图书馆 APP 用户持续使用影响因素实证研究[J]. 情报科学，2015(6):95 - 100.

[18] 查先进,张晋朝,严亚兰. 微博环境下用户学术信息搜寻行为影响因素研究——信息质量和信源可信度双路径视角 [J]. 中国图书馆学报,2015,41(3):71 - 86.

[19] 刘畅，赵瑜，杨帆. 信息检索用户实验设计中时间限制和任务次序的影响研究[J]. 图书情报工作，2015，59(1):99 - 105.

[20] 刘佳，沈旺，李贺. 信息检索认知模型及认知负荷评价研究[J]. 图书情报工作，2012，56(24):133 - 136.

[21] SWELLER J. Cognitive load during problem solving: effects on learning[J]. Cognitive science，1988，12(2):257 - 285.

[22] SWELLER J. Instructional design in technical areas[J]. Australian education review，1999.

[23] 龚德英. 多媒体学习中认知负荷的优化控制[D]. 重庆:西南大学，2009.

[24] GARRETT J J. 用户体验要素[M]. 范晓燕,译. 北京:机械工业出版社,2011.

[25] BERKOWITZ L. Affect，aggression，and antisocial behavior. Handbook of affective sciences [M]. Oxford: Oxford University Press,2003.

[26] ZAUTRA A J，AFFLECK G G，TENNEN H，et al. Dynamic approaches to emotions and stress in everyday life: bolger and zuckerman reloaded with positive as well as negative affects[J]. Journal of personality，2005，73(6):1511 - 1538.

[27] TELLEGEN A. Development and validation of brief measures of positive and negative affect: the PANAS scales[J]. Journal of personality & social psychology，1988，54(6):1063 - 70.

[28] BROOKE J. SUS - a quick and dirty usability scale [J]. Usability evaluation in industry，1996，189 - 194.

[29] PASS F，MERRIENBOER J J G. Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks[J]. Educational psychology review,1994,6(4):351 - 371.

[30] 王翠，郑春厚. 以用户为中心的数字图书馆用户界面设计研究[J]. 图书馆学研究，2008(6):11 - 14.

[31] 李晶，薛澄岐，王海燕，等. 均衡时间压力的人机界面信息编码[J]. 计算机辅助设计与图形学学报，2013，25(7):1022 - 1028.

[32] MANNIX E A. Process and structure in human decision making [J]. Journal of organizational behavior，2010，12(1):81 - 83.

[33] SALAS E，DRISKELL J E，HUGES S. Introduction: the study of stress and human performance[J]. Driskell j. e. & salas e. stress，1996(3):1 - 45.

[34] CASTILLA D，GARCIA P A，MIRALLES I，et al. Effect of Web navigation style in elderly users[J]. Computers in human behavior，2016(55):909 - 920.

作者贡献说明:

侯冠华:数据处理与分析,论文撰写;

董华:论文写作指导,论文修改;

刘颖:实验数据采集和预处理;

范光瑞:实验组织与实施。

chinaXiv:202308.00645v1

Effects of Navigation and Cognitive Load on Digital Library User Experience: A Case Study of National Digital Library of China

Hou Guanhua[1] Dong Hua[2] Liu Ying[2] Fan Guangrui[2]

[1] College of Architecture and Urban Planning，Tongji University，Shanghai 200092

[2] College of Design and Innovation，Tongji University，Shanghai 200092

Abstract: [**Purpose/significance**] This study explored the effects of digital navigation and cognitive load on older readers' user experience，and accordingly proposed the optimization suggestions. [**Method/process**] Extremely controlled experiment method was used in this study，and older readers were invited to attend the reading experiment under different cognitive load conditions. They were asked to fulfill different tasks commonly used in the digital library by different navigation structures of digital libraries. [**Result/conclusion**] The results showed that the navigation structure has significant influence on usability. In addition，interaction effect between cognitive load and navigation structure were found. Older readers' affects and task efficiency were significantly influenced by the two factors.

Keywords: digital library user experience affective experience cognitive load navigation